Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 19, No. 2, Summer. 2021, p. 153-167

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد 19، شماره 2، تابستان 1400، ص. 167-153

مقاله پژوهشی

اثر قطع آبیاری در مراحل زایشی و کاربرد پوترسین و کودهای زیستی بر دوره پر شدن دانه، محتوای کلروفیل و عملکرد گندم

علیرضا محسنی محمدجانلو[1*]، رئوف سیدشریفی[2]، سعید خماری[3]

تاریخ دریافت: 1399/09/18
تاریخ پذیرش: 1399/11/27

چکیده

به‌منظور بررسی اثر قطع آبیاری در مراحل زایشی و کاربرد پوترسین و کودهای زیستی بر دوره پر شدن دانه، محتوای کلروفیل و عملکرد گندم، آزمایش فاکتوریلی بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی 98-1397 اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در 50% مرحله سنبله‌دهی و قطع آبیاری در 50% مرحله آبستنی (چکمه‌ای شدن) به‌ترتیب به‌عنوان محدودیت ملایم و شدید آبی) و کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کودهای زیستی به‌عنوان شاهد، کاربرد میکوریز (*Glomus Intraradices*)، کاربرد توأم سودوموناس (*Psedomunas Putida Strain* 186) و فلاوباکتریوم (*Flavobacterim* Spp)، کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم) و محلول‌پاشی پوترسین در سه سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، کاربرد 0/5 و یک میلی‌مولار) بودند. از مدل دو تکه‌ای برای کمی‌سازی مولفه‌های پر شدن دانه استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد حداکثر وزن دانه (0/0641 گرم)، سرعت پر شدن دانه (2/28 میلی‌گرم در روز)، طول دوره (39/7 روز) و دوره موثر پر شدن دانه (28/14 روز) در ترکیب تیماری آبیاری کامل با کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین و حداقل مقادیر این صفات (به‌ترتیب 0/0361 گرم، 1/6 میلی‌گرم در روز، 33/15 و 22/57 روز) در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی پوتریسین به‌دست آمد که از افزایش به‌ترتیب 77/56، 42/5، 19/76 و 24/68 درصدی در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی برخوردار بودند. آبیاری کامل با کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین، حجم و وزن خشک ریشه را به‌ترتیب 124/37 و 123/47 درصد افزایش داد. عملکرد دانه در قطع آبیاری در مرحله آبستنی و ظهور سنبله نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت. بیش‌ترین عملکرد (682/68 گرم در مترمربع) در آبیاری کامل، کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتریوم (686/42 گرم در مترمربع) و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین (618/02 گرم در مترمربع) به‌دست آمد. بر اساس نتایج این بررسی، به‌نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و پوتریسین می‌تواند به‌دلیل بهبود صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی، عملکرد دانه‌ی گندم را تحت شرایط محدودیت آبی در مراحل زایشی افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: سرعت پر شدن دانه، کودهای بیولوژیک، محدودیت آبیاری، میکوریز

مقدمه

محدودیت آبی از مهم‌ترین عوامل محیطی موثر در کاهش رشد و عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود و علایم آن به‌صورت کاهش کلروفیل (Monakhova and Chernyadev, 2002)، کمبود مواد فتوسنتزی لازم برای پر شدن دانه و کاهش طول دوره پر شدن دانه‌ها (Reddy *et al*., 2004)، تخریب غشای تیلاکوئیدهای کلروپلاست و اکسیداسیون نوری کلروفیل در اثر افزایش فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن، افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز و کاهش محتوای کلروفیل های a و b ظاهر می‌شود (Ashraf *et al*., 1994). محدودیت آبی موجب کاهش طول دوره پر شدن دانه می‌شود و این کاهش در شرایط تنش می‌تواند ناشی از توقف عرضه مواد فتوسنتزی، کاهش محتوای آب دانه و یا توقف فعالیت متابولیکی مخزن باشد (Hammer *et al*., 2009).

در سال‌های اخیر استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشدی مانند پلی‌آمین‌ها برای کاهش اثر تنش‌های محیطی در گیاهان مطرح شده است. پلی‌آمین‌ها در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک نظیر رشد و نمو گل و میوه، پیری برگ، و پاسخ گیاه به تنش‌های زنده و غیرزنده

1- دانشجوی دکتری رشته زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
2- استاد دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
3- دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
(*- نویسنده مسئول: Email: a.mohseni55@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jcesc.2021.67402.1000

محیطی موثر است (Kusano *et al*., 2008). مکانیسم فیزیولـوژی پلی‌آمین‌ها در شرایط تنش به‌درستی شناخته نشده است، ولی به‌دلیل خاصیت پلی‌کاتیونی می‌توانند با اتصال به ماکرومولکول‌های آنیـونی شامل فسفولیپیدها، اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها موجب پایـداری غشا و ساختارهای ماکرو مولکولی سلول‌هـا شـده (Alcázar *et al*., 2006) و به‌عنوان یک برداشت‌کننده موثر گونه‌های فعـال اکسـیژن عمل کنند (Mahros *et al*., 2011). همچنین پوترسین می‌تواند در حفظ یکپارچگی و بقای غشای سیتوپلاسمی و اندامک‌های سلولی در شرایط تنش خشـکی نقـش اساسـی ایفـا کنـد (Zhang and John PCL, 2005). بررسی‌های گوپتا و همکاران (Gupta *et al*., 2012) نشان داد کاربرد پوتریسین در شرایط خشکی در گندم، تعداد سـنبله، وزن سنبله و عملکرد دانه را افزایش داد.

یکی دیگر از راه‌های تعدیل یا کاهش اثر تنش‌ها، کاربرد کودهای زیستی است. این کودها در شـرایط تـنش نـه‌تنهـا موجـب افـزایش مقاومت گیاهان می‌شود بلکه میکروارگانیسم‌های از دست رفته خاک را نیـز جبـران مـی‌کننـد (Seyed Sharifi and Namvar, 2016). بررسی‌های جارک و همکاران (Jarak *et al*., 2012) نشـان داد کـه تلقیح توأم باکتری‌های سودوموناس پوتیدا (*Pesdomunas Putida*)، باسـیلوس (*Bacillus*) و ازتوبـاکتر کروکوکـوم (*Azotobacter chroococcum*) موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانـه‌ی ذرت شـد. کریچنر و همکاران (Kirchner *et al*., 1993) در بررسی تاثیر تلقیح بـذر گنـدم و جـو بـا فلاوبـاکتریوم (*Flavobacterium*)، افـزایش عملکردی معادل 500-300 کیلـوگرم در هکتـار را گـزارش نمودنـد. میکوریزها (*Mycorrhiza*) نیز به‌دلیل افزایش سطح جذب ریشه‌ها از راه نفوذ مسیلیوم قارچ در خاک و دسترسی گیاهان زراعی به حجم بیشتری از خاک، در افزایش جذب آب و عناصر غذایی، بسیار موثرند (Seyed Sharifi and Namvar, 2016). مادر و همکاران (Mader *et al*., 2011) گزارش کردند که تلقیح توأم بذر گندم بـا میکـوریز و سودوموناس، عملکرد را به میزان 41 درصد نسبت به شاهد افـزایش داد. بررسی‌های گروور و همکاران (Grover *et al*., 2010) نشان داد که کاربرد باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریزا می‌توانند با جذب بیشتر آب، به رشد بهتر گیاه به‌خصوص تحت شـرایط تـنش، کمـک کنند. افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا نسبت به تیمـار شـاهد در بررسـی‌هـای اسـرار و همکـاران (Asrar *et al*., 2012) نیز عنوان شده اسـت. موچشـی و همکـاران (Moucheshi *et al*., 2012) نشان دادند با کاربرد قـارچ میکـوریزا محتوای کلروفیل a، b و کل در تیمارهای تلقیح شده به‌ترتیب 13/7، 33/5 و 17/4 درصد نسبت بـه تیمـار شـاهد (عـدم تلقـیح بـا قـارچ میکوریزا) افزایش یافت. خیری زاده آروق (Kheirizadeh Arough, 2016) گزارش کرد که کاربرد میکوریزا، سودوموناس پوتیدا و ازتوباکتر کروکوکوم با افزایش وزن و حجم ریشه و بهبود محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و مؤلفه‌های پر شدن دانه، موجـب افـزایش عملکـرد دانـه تریتیکاله (*Triticosecale*) شد. کـادر و همکـاران (Kader *et al*., 2002) اظهار داشتند که مصرف ازتوباکتر بـا تـأثیر مثبـت بـر رشـد ریشه‌ها به افزایش 18 درصدی عملکرد گندم منجر شد.

در بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور بخشی از دوران رشد زایشی گندم با محدودیت آبـی روبـه‌رو اسـت. از ایـن رو اسـتفاده از روش‌هایی که موجب کاهش یا تعدیل اثر ناشی از محدودیت آبی شود ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا به دلیل اهمیت کودهای زیستی و پوترسین در تعدیل بخشی از اثرات ناشـی از تـنش و بررسـی‌هـای محدود انجام شده در خصوص برهم‌کنش توأم این عوامل، موجب شد تا اثر تلقیح کودهای زیستی و محلول‌پاشـی پوترسـین بـر عملکـرد، برخی صفات نظیر مؤلفه‌های پر شدن دانه و محتوای کلروفیل گنـدم در شرایط قطع آبیاری در مراحل زایشی مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامـل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منـابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی با مختصات جغرافیایی 48 درجه و 20 دقیقه طول شرقی و 38 درجه و 19 دقیقـه عـرض شـمالی و ارتفـاع 1350 متر از سطح دریا طی سال زراعی 98- 1397 اجرا شد. عوامـل مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در50% مرحله ظهور سنبله و قطع آبیاری در50% مرحلـه آبستنی به‌ترتیب به‌عنوان محدودیت ملایم و شدید آبی بر اساس کد 55 و 43 مقیاس BBCH) و کودهای زیستی در چهـار سـطح (عـدم کاربرد کودهای زیستی به‌عنوان شاهد، کاربرد میکوریز، کاربرد تـوأم سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد توأم میکوریز بـا سـودوموناس و فلاوباکتریوم) و محلول‌پاشی پوترسین در سه سطح (محلول‌پاشی بـا آب به‌عنوان شاهد، کاربرد 0/5 و یک میلی‌مولار) بودند. محلول‌پاشی پوترسین یک هفته بعد از ساقه‌روی و قبل از قطع آبیـاری در مرحلـه آبستنی انجام شد. کودهای زیستی شامل قـارچ میکـوریز *Glomus Intraradicese* و بـاکتری سـودوموناس *Psedomunas Putida Strain 186* و فلاوبـاکتریوم *Flavobacterim Spp* بـود. مایـه تلقیح باکتری‌های مورد نیاز، از موسسه خاک و آب تهیه شـد. بـرای تلقیح بذرها از مایه تلقیحی که هر گرم آن دارای 10^7 عـدد بـاکتری زنده و فعال بود استفاده گردید. از محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. این مخلوط به مدت دو سـاعت در محل خشک و تاریک قرار داده شد و سپس کشت شد. میکوریز از شرکت زیست فناوران توران تهیه و به استناد توصیه شرکت مذکور به میزان 20 گرم در هر متر مربع خاک (200 کیلوگرم درهکتار) به‌روش استاندارد و توصیه شده جیانینازی (Gianinazzi *et al*., 2001) سه تا چهار روز قبل از کاشت با بخش سطحی خـاک مخلـوط شـد. تعـداد

تقریبی اسپور زنده در هر گرم قارچ حدود 100 اسپور بود. رقم مورد کشت رقم آبی گاسکوژن بود که از شرکت تعاونی تولیدی پیراقوم اردبیل تهیه شد. این رقم پا بلند، با تیپ رشد زمستانه و مقاوم به سرما و خوابیدگی و در گروه ارقام با کیفیت نانوایی بسیار خوب قرار دارد. هر واحد آزمایشی شامل پنج ردیف کاشت به طول دو متر با فواصل بین ردیفی 25 سانتی‌متر و تراکم 400 بذر در مترمربع بود که تراکم مطلوب و توصیه شده برای این رقم است. به‌منظور اطمینان از عدم تداخل آب آبیاری به کرت‌های مجاور، فاصله‌ی بین کرت‌ها یک متر و نیم در نظر گرفته شد. در طول اجرای آزمایش کود خاصی در مزرعه استفاده نشد. در طول دوره رشد، کنترل علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. شرایط اقلیمی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی به‌ترتیب در جدول 1 و 2 آورده شده است.

جدول 1- ویژگی‌های جوی در طول دوره رشدی (ماخذ: اداره کل هواشناسی استان اردبیل)

Table 1- Atmospheric parameters during the period of wheat growth (Source; Ardabil Meteorology Department)

پارامترهای اقلیمی Parameters climatic	مهر Oct	آبان Nov	آذر Dec	دی Jan	بهمن Feb	اسفند Mar	فروردین Apr	اردیبهشت May	خرداد Jun	تیر Jul	مرداد Aug
بارندگی Rainfall (mm)	9	35.8	32.9	28.4	59.7	25.9	40	29.5	13	0.1	0
میانگین دما (°C) Temperature mean	14.1	7.6	5.7	1.8	2.7	4.1	8	12.4	17.6	18.8	19.7
جمع ساعات آفتابی (Sunny hours)	193.4	122.3	101	183.5	172.6	173.6	163	258.1	287.7	366	314.1
متوسط رطوبت نسبی (٪) Relative humidity mean	76	81	79	68	72	71	73	63	58	62	61

جدول 2- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 2- Physical and chemical characteristics of experimental farm soil

مشخصه Characteristic	pH	بافت Texture	EC $dS.m^{-1}$	عصاره اشباع SP	آهک Lime	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	کربن آلی O.C	نیتروژن کل N	فسفر P	پتاسیم K	روی Zn
				(%)							$mg.kg^{-1}$		
مقادیر (Amounts)	7.8	Loam	2.3	49	14.4	23	42	35	0.62	0.06	8.29	202	18

به‌منظور بررسی تأثیر تیمارهای مورد بررسی بر سرعت پر شدن دانه، نمونه‌برداری از 17 روز بعد از ظهور سنبله در فواصل زمانی هر چهار روز یک بار انجام شد. در هر بار نمونه‌برداری پنج سنبله از خطوط اصلی هر واحد آزمایشی انتخاب و بعد از انتقال به آزمایشگاه، دانه‌ها از سنبله جدا شده و به مدت دو ساعت در آون الکتریکی تهویه‌دار در دمای 130 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس وزن خشک تک دانه از محاسبه وزن خشک کل به تعداد دانه برآورد شد (Ronanini *et al*., 2004). به‌منظور برآورد، تجزیه و تحلیل و تفسیر پارامترهای مربوط به پر شدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی دو تکه‌ای به کمک رویه DUD و برنامه Proc NLIN نرم افزار SAS به‌صورت رابطه (1) استفاده گردید.

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < T_0 \\ a + bt & t > T_0 \end{cases} \qquad (1)$$

در این رابطه GW وزن دانه، t زمان، b شیب خط تا مرحله رسیدگی وزنی که بیانگر سرعت پر شدن دانه است، t_0 پایان دوره پر شدن دانه و a عرض از مبدأ است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کند: مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t_0 که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است، به‌صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله ($t < t_0$) سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهد (Ellis and Pieta-Filho, 1992). با برازش این مدل بر کلیه داده‌ها ابتدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه یعنی سرعت پر شدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t_0) به‌دست آمده و سپس مقدار عددی t_0 در قسمت دوم رابطه (1) قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه شد. برای تعیین دوره موثر پر شدن دانه از رابطه EFP=MGW / GFR استفاده شد (Ellis and Pieta-Filho, 1992). در این رابطه EFP دوره موثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و GFR سرعت پر شدن دانه است.

محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برگ با استفاده از روش (Arnon, 1949) و بر اساس روابط (2) تا (5) برآورد شد.

$$\text{کلروفیل a} = (19/3 \times A_{663} - 0/86 \times A_{645})\ V/100\ W \qquad (2)$$

(3) $\text{b کلروفیل} = (19/3 \times A_{645} - 3/6 \times A_{663})\ V/100\ W$

(4) $\text{کلروفیل کل} = \text{کلروفیل a} + \text{کلروفیل b}$

(5) $\text{کارتنوئید} = (1000\ A_{470} - 1/82\ C_a - 85/02\ C_b)/198$

در این روابط V حجم استون استفاده شده و W وزن نمونه گیاهی استفاده شده است.

قبل از کاشت در ردیف‌های اصلی هر واحد آزمایشی، تعدادی کیسه‌های پلاستیکی به قطر 40 سانتی‌متر در عمق 40 سانتی‌متری خاک و هم سطح با دیگر خطوط کاشت قرار داده شد تا امکان برآورد دقیق وزن و حجم ریشه در سطح مشخصی از مزرعه فراهم شود. تراکم کاشت در این کیسه‌ها مشابه تراکم دیگر قسمت‌های کاشته شده در نظر گرفته شد. برای تعیین وزن و حجم ریشه‌ها پس از خارج‌سازی ریشه‌ها از خاک در زمان رسیدگی، ریشه‌ها برای خشک شدن در آون با دمای 75 درجه سانتی‌گراد به مدت 72 ساعت یا بیشتر (تا زمان تثبیت وزن خشک نهایی) قرار داده شد و سپس وزن خشک ریشه با ترازوی دیجیتالی با دقت 0/001 گرم توزین شد. حجم ریشه با استفاده از حجم مشخصی از آب در استوانه مدرج اندازه‌گیری شد، طوری‌که اختلاف حجم ایجاد شده پس از ورود ریشه‌ها در آب استوانه مدرج به‌عنوان حجم ریشه منظور شد. عملکرد دانه از سطحی معادل یک متر مربع از خطوط اصلی هر کرت بعد از حذف اثر حاشیه‌ای برآورد شد. برای تجزیه داده‌ها و رسم شکل‌ها از نرم‌افزارهای SAS و Excel استفاده شد. میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح آبیاری، کودهای زیستی، محلول‌پاشی با پوترسین بر وزن خشک و حجم ریشه، محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید، حداکثر وزن دانه، سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 3).

محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح آبیاری، کودهای زیستی، محلول‌پاشی با پوترسین، اثر ترکیب تیماری آبیاری در کودهای زیستی و اثر ترکیب تیماری آبیاری در پوترسین بر محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و اثر ترکیب تیماری سه جانبه آبیاری، کودهای زیستی و پوترسین بر محتوای کارتنوئید در سطح احتمال یک و پنج درصد درصد معنی‌دار بود (جدول 3). مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل از افزایش به‌ترتیب 83/2، 34/28 و 22/56 درصدی در حالت آبیاری کامل نسبت به شرایط قطع آبیاری در آبستنی برخوردار بود. کاربرد توأم میکوریز با سودموناس و فلاوباکتریوم در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی از افزایش به‌ترتیب 26/45، 45 و 31/4 درصدی و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین در مقایسه با عدم محلول‌پاشی از افزایش به‌ترتیب 15/2، 27/3 و 18/4 درصدی محتوای کلروفیل های a، b و کلروفیل کل برخوردار بودند (جدول 4).

اثر ترکیب تیماری سطوح آبیاری در کود زیستی نشان داد که محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل در شرایط قطع آبیاری در آبستنی و عدم کاربرد کودهای زیستی در مقایسه با آبیاری کامل با کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم به‌ترتیب 59/27، 121/9 و 74/6 درصد کاهش یافتند (جدول 5). همچنین در ترکیب تیماری سطوح آبیاری در پوترسین، آبیاری کامل با کاربرد 0/5 میلی‌مولار پوترسین موجب افزایش به‌ترتیب 32/2، 75/3 و 45/7 درصدی محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل در مقایسه با شرایط قطع آبیاری در آبستنی و عدم محلول‌پاشی پوترسین شد (جدول 6).

حداکثر میزان کارتنوئید (12/18 میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در آبیاری کامل با کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین و کمترین آن (5/28 میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی پوتریسین به‌دست آمد (جدول 7) که از افزایش 130/7 درصدی برخوردار بود. سقفی و همکاران (Saghafi *et al*., 2013) در گندم نشان دادند که تلقیح با باکتری سودوموناس در مقایسه با تیمار شاهد (عدم تلقیح) موجب افزایش صفات فیژیولوژیکی گردید. آنان همچنین بیشترین میزان کلروفیل را در تلقیح با باکتری سودوموناس مشاهده گردند. چاندراسکار و همکاران (Chandrasekhar *et al*., 2005) اثر مفید تلقیح بذر با آزوسپریلیوم بر افزایش محتوای کلروفیل را، به در دسترس بودن بالاتر نیتروژن به‌واسطه تثبیت نیتروژن نسبت دادند. کاربرد غلظت‌های مختلف پوترسین نیز منجر به بهبود محتوای کلروفیل شد. ال-باسیونی و همکاران (El-Bassioouny *et al*., 2008) بیان کردند که استفاده از پوترسین به‌طور قابل توجهی محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی را (کلروفیل a، b و کل) در برگ گندم را افزایش داد. نتایج مشابهی نیز توسط کوئی و همکاران (Couee *et al*., 2004) مبنی بر این‌که کاربرد پوترسین موجب تأخیر در پیری و کاهش از دست دادن کلروفیل می‌شود، گزارش شده است. برخی محققان معتقدند محلول‌پاشی پوترسین با القای داخلی سیتوکنین موجب تحریک بیوسنتز کلروفیل و تمایز کلروپلاست در گندم می‌شود (El-Bassioouny *et al*., 2008; Xie *et al*., 2004).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سطوح آبیاری، کودهای زیستی و پوترسین بر وزن و حجم ریشه، محتوای کلروفیل، عملکرد دانه و مولفه‌های پر شدن دانه گندم

Table 3- Analysis of variance the effect of irrigation levels, biofertilizers and putrescine on root weight and volume, Chlorophyll content, grain yield and grain filling components of wheat

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات MS										
		وزن خشک ریشه Root weight	حجم ریشه Root volume	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کارتنوئید Carotenoids	حداکثر وزن دانه Maximum of grain weight	سرعت پر شدن دانه Grain filling rate	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period	دوره موثر پر شدن دانه Effective grain filling period	عملکرد دانه Grain yield
تکرار R	2	531.12 ^{ns}	6379.39*	0.0003 ^{ns}	0.004**	0.002 ^{ns}	13.4**	0.003**	5.062**	1929.11**	939.72**	54505.99**
سطوح آبیاری I	2	5535.12**	29134.95**	0.025**	0.011**	0.072**	17.22**	0.0005**	0. 022**	130.41**	123.45**	537940.97**
کود زیستی B	3	8584.14**	42189.12**	0.023**	0.009**	0.063**	34.8**	0.0005**	0.603**	3.68**	6.93**	188452.32**
پوترسین P	2	6207.11**	37264.12**	0.017**	0.007**	0.048**	24.72**	0.0005**	0.507**	13.66**	10.33**	21509.57*
I*B	6	306.53 ^{ns}	3183.1*	0.002*	0.001*	0.008**	3.11*	0.00003**	0.044**	0.28**	0.48**	15704.62*
I*P	4	569.37*	2207.17 ^{ns}	0.002*	0.001*	0.009**	4.33*	0.00006**	0.072**	0.52**	1.53**	1066.19 ^{ns}
B*P	6	622.47*	3272.45*	0.0003 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	2.94*	0.00001**	0.025**	0.15 ^{ns}	0.31**	1260.09 ^{ns}
I*B*P	12	510.38*	2824.76*	0.0005 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.001 ^{ns}	2.99*	0.00002**	0.031**	062**	0.91**	1297.92 ^{ns}
خطا E	70	256.47	1531.54	0.001	0.0007	0.002	1.47	0.000001	0.001	0.11	0.11	5790.02
ضریب تغییرات(%) CV		12.5	13.5	11.4	22.3	10. 7	16.5	2.9	2.1	0.9	1.3	12.8

*, ** and ^{ns}: Significant at 5% and 1% respectively and non-significant.

*، ** و ^{ns}: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری.

جدول 4- مقایسه میانگین اثر سطوح آبیاری، کودهای زیستی و محلول پوترسین بر محتوای کلروفیل و عملکرد دانه گندم

Table 4- Mean comparisons of the effects of irrigation levels, biofertilizers and putrescine on Chlorophyll content and grain yield of wheat

		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کلروفیل b Chlorophyll b	عملکرد دانه Grain yield (g. m⁻²)
		(mg. g⁻¹ FW)			
سطوح آبیاری Irrigation levels	قطع آبیاری در مرحله آبستنی Irrigation withholding in booting	0.184c	0.105b	0.390c	453.3c
	قطع آبیاری در سنبله‌دهی Irrigation withholding in heading	0.319b	0.129a	0.449b	641.24b
	Full irrigation آبیاری کامل	0.337a	0.141a	0.478a	682.68a
	LSD 5%	0.0169	0.0131	0.022	35.77
کودهای زیستی Bio fertilizers	عدم کاربرد کود زیستی No application bio fertilizer	0.276c	0.102c	0.379c	489.55d
	کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتروم both application Psedomunas and Flavobacterim	0.311b	0.124b	0.435b	686.42a
	کاربرد توأم میکوریز با سودموناس و فلاوباکتروم Both application of mycorrhiza with Psedomunas and Flavobacterim	0.349a	0.148a	0.498a	624.04b
	کاربرد میکوریز Mycorrhiza application	0.318b	0.125b	0.444b	569.61c
	LSD 5%	0.0195	0.0152	0.0254	41.3
محلول پوترسین foliar application Putrescine	عدم محلول‌پاشی no foliar application	0.291c	0.11c	0.402c	569.33b
	0/5 میلی‌مولار پوترسین 0.5 mM putrescine	0.313b	0.125b	0.439b	589.87ab
	1 میلی‌مولار پوترسین 1 mM putrescine	0.335a	0.14a	0.476a	618.02a
	LSD 5%	0.0169	0.0131	0.022	35.77

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند.

In each column means followed by the same letter(s) are not significantly different

وزن و حجم ریشه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح آبیاری، کودهای زیستی و محلول‌پاشی با پوترسین بر وزن خشک و حجم ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 3). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن خشک و حجم ریشه (به‌ترتیب 180/95 گرم در متر مربع و 445 سانتی‌متر مکعب در متر مربع) در شرایط آبیاری کامل با کاربرد توأم میکوریز با سودموناس و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین و کمترین این مقادیر (به‌ترتیب 80/97 گرم در مربع و 198/33 سانتی‌متر مکعب در متر مربع) در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی با پوتریسین به‌دست آمد (جدول 7)، طوری که وزن و حجم ریشه در ترکیب تیماری آبیاری کامل، کاربرد توأم میکوریز با سودموناس و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین در مقایسه با ترکیب تیماری قطع آبیاری در مرحله آبستنی، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی پوترسین از افزایش به‌ترتیب 123/47 و 124/37 درصدی برخوردار بود (جدول 7). فنگ و همکاران (Feng *et al*., 2002) در بررسی تاثیر محدودیت آبی با کاربرد میکوریز در ذرت، مشاهده کردند که وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی در نتیجه همزیستی با میکوریز (جنس گلوموس) افزایش یافت و علت را به افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول در ریشه‌ها و ظرفیت بالای چنین گیاهانی برای تنظیم اسمزی نسبت دادند. ساریگ و همکاران (Sarig *et al*., 1992) تعدیل اثر محدودیت آبی در شرایط کاربرد کودهای زیستی به‌خصوص میکوریز را به افزایش سطح ریشه نسبت دادند که با افزایش دسترسی به آب و عناصر غذایی منجر به بهبود رشد گیاه می‌شود. مانسک و همکاران (Manske *et al*., 2000) علت افزایش وزن و عملکرد ریشه گندم در تلقیح بذر با ازتوباکتر را به ایندول استیک اسید تولید شده در کنار سایتوکینین توسط ازتوباکتر نسبت دادند که از طریق رشد ریشه‌های جانبی موجب افزایش وزن ریشه می‌شود.

جدول 5- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری سطوح آبیاری و کود های زیستی بر محتوای کلروفیل و عملکرد دانه گندم

Table 5- Means comparison the effects of treatment compound irrigation levels and biofertilizers on Chlorophyll content and grain yield of wheat

ترکیب تیماری Treatments combination		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	عملکرد دانه Grain yield
			(mg g⁻¹ FW)		(g. m⁻²)
I_1	B_1	0.248e	0.082f	0.331e	403.42e
	B_2	0.278de	0.103ef	0.382de	496.8cd
	B_3	0.315bc	0.126bcde	0.442bc	470.65cd
	B_4	0.296cd	0.108ef	0.404cd	442.31de
I_2	B_1	0.285cd	0.109def	0.395cd	529.35c
	B_2	0.316bc	0.126bcde	0.443bc	762.83a
	B_3	0.335b	0.137bcd	0.473b	655.08b
	B_4	0.34b	0.144b	0.484b	617.71b
I_3	B_1	0.295cd	0.114cde	0.41cd	535.88c
	B_2	0.338b	0.142bc	0.48b	799.64a
	B_3	0.395a	0.182a	0.578a	746.38a
	B_4	0.318bc	0.125bcde	0.443bc	648.81b
LSD 0.05		0.036	0.027	0.053	66.58

I_1، I_2 و I_3: به‌ترتیب قطع آبیاری در آبستنی، قطع آبیاری در سنبله‌دهی، آبیاری کامل

B_1، B_2، B_3 و B_4: به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد میکوریز

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند

I_1, I_2 and I_3; irrigation withholding in booting, irrigation withholding in heading and full irrigation respectively

B_1, B_2, B_3 and B_4; no biofertilizer, both application Psedomunas and Flavobacterim, both application of mycorrhiza with Psedomunas and Flavobacterim, application of mycorrhiza, respectively

In each column means followed by the same letter(s) are not significantly different

جدول 6- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری سطوح آبیاری و پوترسین بر محتوای کلروفیل گندم

Table 6- Means comparison the effects of treatments compounds irrigation levels and putrescine on Chlorophyll content of wheat

ترکیب تیماری Treatments combination		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll
			(mg g⁻¹ FW)	
I_1	P_1	0.261f	0.089e	0.35f
	P_2	0.274ef	0.098de	0.373ef
	P_3	0.318bcd	0.128bc	0.446bcd
I_2	P_1	0.297de	0.118cd	0.416de
	P_2	0.312cd	0.12cd	0.433cd
	P_3	0.348ab	0.148ab	0.497ab
I_3	P_1	0.316bcd	0.124bcd	0.44cd
	P_2	0.354a	0.156a	0.51a
	P_3	0.34abc	0.142abc	0.483abc
LSD 0.05		0.035	0.025	0.053

I_1، I_2 و I_3: به‌ترتیب قطع آبیاری در آبستنی، قطع آبیاری در سنبله‌دهی، آبیاری کامل

P_1، P_2 و P_3: به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، کاربرد 0/5 و 1 میلی‌مولار پوترسین

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند.

I_1, I_2 and I_3; irrigation withholding in booting, irrigation withholding in heading and full irrigation, respectively

P_1, P_2 and P_3; no foliar application, application 0.5 and 1 mM of putrescine, respectively

In each column means followed by the same letter(s) are not significantly different

جدول 7- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری سطوح آبیاری، کودهای زیستی و پوترسین بر وزن و حجم ریشه، کارتنوئید، حداکثر وزن تک دانه، دوره موثر، سرعت و طول دوره پر شدن دانه گندم

Table 7- Means comparison the effects of treatments combination irrigation levels, biofertilizers and putrescine on root weight and volume, carotenoids, maximum of grain weight, effective period, rate and grain filling period of wheat

ترکیب تیماری Treatments combination	وزن خشک ریشه Root weight ($g.\ m^{-2}$)	حجم ریشه Root volume (cm^3)	محتوای کارتنوئید Carotenoids ($mg.\ g^{-1}$ FW)	حداکثر وزن تک دانه Maximum of grain weight (g)	سرعت پر شدن دانه Grain filling rate ($mg.\ day^{-1}$)	طول دوره پر شدن دانه) filling Grain period (day)	دوره موثر پر شدن دانه Effective grain filling period (days)
$I_1 \times B_1 \times P_1$	80.97o	198.33n	5.28l	0.0361r	1.6s	33.15q	22.57p
$I_1 \times B_2 \times P_1$	109.45k-n	243.33j-n	6.67f-l	0.0397p-q	1.69o-q	34.05o-p	23.52n
$I_1 \times B_3 \times P_1$	108.6l-n	246.67i-n	6.2g-l	0.0432m-n	1.86j-k	33.59p-q	23.24n-o
$I_1 \times B_4 \times P_1$	107.88l-n	225l-n	5.89h-l	0.0416n-p	1.81k-l	33.54p-q	22.96n-p
$I_1 \times B_1 \times P_2$	95.38m-o	223.33l-n	5.68k-l	0.0384p	1.69o-q	34.17n-o	22.73o-p
$I_1 \times B_2 \times P_2$	103.05m-o	238.33j-n	5.66k-l	0.0417n-p	1.79 l-m	33.90o-p	23.32n
$I_1 \times B_3 \times P_2$	137.97d-j	296.67e-j	7.4e-k	0.0484i	1.97g-i	35.44k	24.56l-m
$I_1 \times B_4 \times P_2$	106.42l-o	241.67j-n	6.13g-l	0.0418n-p	1.78 l-n	34.69m-n	23.51n
$I_1 \times B_1 \times P_3$	85.42n-o	206.67m-n	5.82i-l	0.0415n-p	1.83k-l	34.93l-m	22.67p
$I_1 \times B_2 \times P_3$	141d-l	295e-k	7.71d-j	0.0485i	2g-h	34.83m	24.24m
$I_1 \times B_3 \times P_3$	148.35b-e	335b-f	8.44b-f	0.0518f-h	2.12d-e	35.61j-k	24.45m
$I_1 \times B_4 \times P_3$	151b-e	340b-e	8.83b-e	0.0508h	2.07e-f	35.67i-k	24.56l-m
$I_2 \times B_1 \times P_1$	106.93l-o	231.67k-n	5.75j-l	0.0406o-p	1.65q-r	36.06i-j	24.60l-m
$I_2 \times B_2 \times P_1$	115.7i-m	273.33f-l	5.69k-l	0.0437j-m	1.72n-p	35.97i-k	25.41k
$I_2 \times B_3 \times P_1$	131.03e-l	295e-k	7.32e-k	0.0513g-h	1.97g-i	37.42g-h	26.06j
$I_2 \times B_4 \times P_1$	113.33j-m	270g-m	7.83b-h	0.0453j-m	1.7o-q	37.55e-h	26.65f-i
$I_2 \times B_1 \times P_2$	116.07h-m	268.33g-m	5.82i-l	0.0422n-o	1.73m-p	36.21i	24.39m
$I_2 \times B_2 \times P_2$	143.35b-f	316.67c-h	8.02b-g	0.0463i-j	1.74m-o	37.31h	26.61g-j
$I_2 \times B_3 \times P_2$	142.07c-h	315d-h	7.77c-i	0.0509h	2.03f-g	37.50f-h	25.09k-l
$I_2 \times B_4 \times P_2$	131.33e-l	290e-k	6.62f-l	0.0483i	1.96h-i	37.59e-h	24.77l-m
$I_2 \times B_1 \times P_3$	110.27k-n	265g-m	5.92h-l	0.0455j-l	1.74m-o	37.53e-h	26.12i-j
$I_2 \times B_2 \times P_3$	135.03e-k	308d-i	8.81b-e	0.0540e-f	1.98g-i	37.68d-h	27.26b-e
$I_2 \times B_3 \times P_3$	150.53b-e	340b-e	9.44b-d	0.0551d-e	2.03f-g	38.28b-c	27.13d-g
$I_2 \times B_4 \times P_3$	169.38a-b	393.33a-b	9.75b	0.0611b	2.26a-b	37.48f-h	27.07e-g
$I_3 \times B_1 \times P_1$	107.05l-n	236.67j-n	5.96h-l	0.0433l-n	1.64q-s	37.44f-h	26.42h-j
$I_3 \times B_2 \times P_1$	117.15g-m	256.67h-n	6.63f-l	0.0457j-k	1.68o-r	37.26h	27.20c-f
$I_3 \times B_3 \times P_1$	154.52b-e	340b-e	8.58b-f	0.0545d-e	2.03f-g	37.97c-g	26.84e-h
$I_3 \times B_4 \times P_1$	109.88k-n	240j-n	6.41g-l	0.0435k-n	1.62r-s	37.61e-h	26.83e-h
$I_3 \times B_1 \times P_2$	117.4f-m	243.33j-n	6.26g-l	0.0445j-m	1.67p-r	38b-f	26.68f-i
$I_3 \times B_2 \times P_2$	154.83b-e	345b-e	9.7b-c	0.0575c	2.14c-d	38.33b-c	26.85e-h
$I_3 \times B_3 \times P_2$	161.82a-d	371.67b-d	9.67b-d	0.0610b	2.2b-c	34.4b	27.74a-c
$I_3 \times B_4 \times P_2$	167.7a-c	380b- c	9.68b-d	0.0563c-d	2.08d-f	38.08b-e	27.06e-g
$I_3 \times B_1 \times P_3$	113.23j-m	255h-n	5.9h-l	0.0454j-m	1.68o-r	38.43b-c	27.02e-g
$I_3 \times B_2 \times P_3$	142.02c-h	323.33c-g	7.85b-h	0.0533e-g	1.92i-j	38.24b-d	27.79a-b
$I_3 \times B_3 \times P_3$	180.95a	445a	12.18a	0.0641a	2.28a	39.17a	28.14a
$I_3 \times B_4 \times P_3$	142.38c-g	315d-h	7.44e-k	0.0513g-h	1.87j-k	38.46b-c	27.47b-d
LSD	26.08	63.72	1.97	0.0022	0.065	0.5613	0.56

I_1، I_2 و I_3: به‌ترتیب قطع آبیاری در آبستنی، قطع آبیاری در خوشه‌دهی و آبیاری کامل

B_1، B_2، B_3 و B_4: به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد میکوریز

P_1، P_2 و P_3: به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، کاربرد 0/5 و 1 میلی‌مولار پوترسین

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند

I_1, I_2 and I_3; irrigation withholding in booting, irrigation withholding in heading and full irrigation respectively

B_1, B_2, B_3 and B_4; no biofertilizer, both application Psedomunas and Flavobacterim, both application of mycorrhiza with Psedomunas and Flavobacterim, application of mycorrhiza, respectively. P_1, P_2 and P_3; no foliar application, application 0.5 and 1 mM of putrescine, respectively.

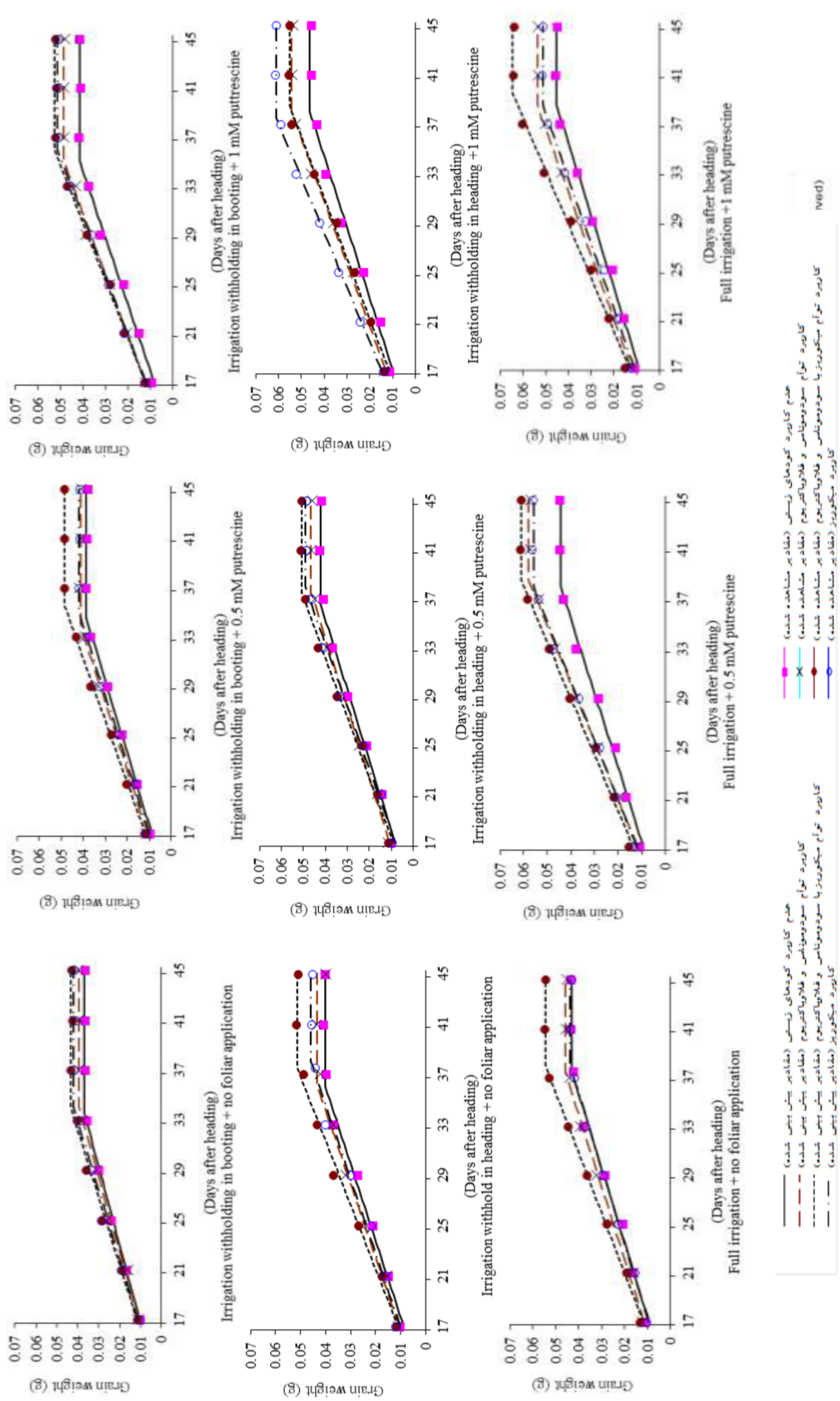
Means with similar letters in each column are not significantly different

مؤلفه‌های پر شدن دانه: بر اساس جدول تجزیه واریانس اثر سطوح آبیاری، کودهای زیستی و پوترسین و اثر ترکیب تیماری این سه عامل بر حداکثر وزن تک دانه، سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 3). بررسی روند پر شدن دانه نشان داد که الگوی نمو بذر در تیمارهای مورد بررسی تقریباً مشابه است به این ترتیب که ابتدا وزن دانه به صورت خطی افزایش یافته و به حداکثر خود رسید (رسیدگی وزنی) پس از این مرحله وزن دانه از تغییرات چندانی برخوردار نبوده و به‌صورت یک خط افقی درآمد (شکل 1). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که وزن تک دانه، سرعت پر شدن دانه، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه به‌ترتیب از افزایش 77/56، 42/5، 19/76 و 24/68 درصدی در ترکیب تیماری آبیاری کامل، کاربرد توأم میکوریز با سودموناس و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین در مقایسه با قطع آبیاری در مرحله آبستنی، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی پوتریسین برخوردار بود (جدول 7).

بخشی از بهبود مؤلفه‌های پر شدن دانه را می‌توان به اثر کودهای زیستی بر محتوای کلروفیل نسبت داد (جدول 4، 5 و 7). در این راستا تسنو و همکاران (Tsuno *et al*., 1994) اظهار داشتند که افزایش میزان کلروفیل در طول دوره رشد به‌ویژه دوره‌ی پر شدن دانه، موجب افزایش سرعت پر شدن دانه می‌شود. بخشی از بهبود مؤلفه‌های پر شدن دانه با کاربرد کودهای زیستی را می‌توان به اثر این کودها در افزایش وزن و حجم ریشه نسبت داد (جدول 7). در این راستا توگای و همکاران (Togay *et al*., 2008) اظهار داشتند که کودهای زیستی با تولید هورمون‌های محرک رشد و افزایش رشد ریشه و کمک به قابلیت دسترسی به عناصر غذایی، منجر به افزایش طول دوره پر شدن دانه می‌شود. به بیانی دیگر کودهای زیستی می‌توانند با تامین عناصر غذایی، ضمن افزایش سرعت پر شدن دانه، امکان تداوم بیش‌تر دوره پر شدن دانه را نیز فراهم سازند. آلوارو و همکاران (Alvaro *et al*., 2008) اظهار نمودند در شرایط مطلوب رطوبتی، افزایش نسبی طول دوره پر شدن دانه ها با ایجاد فرصت بیشتر برای انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها به افزایش عملکرد کمک می‌کند ولی در شرایط محدودیت آبی به دلیل توقف عرضه مواد فتوسنتزی و یا توقف فعالیت متابولیکی مخزن طول دوره پر شدن دانه کاهش می‌یابد (Ahmadi and Baker, 2001).

یکی از اثرات شناخته شده پوترسین، اثر ویژه آن‌ها بر جلوگیری از تخریب غشاء و پیری زودرس برگ‌ها می‌باشد (Malabika and Wu, 2001) از این‌رو به نظر می‌رسد کاربرد برگی پوترسین با افزایش محتوای کلروفیل (جدول 6 و 7) در طول دوره رشد موجب افزایش سرعت پرشدن دانه و دوره پر شدن موثر دانه شده است. نتایج مشابهی نیز توسط عمادی و همکاران (Emadi *et al*., 2014) گزارش شده است.

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح آبیاری، کودهای زیستی، محلول‌پاشی با پوترسین، اثر ترکیب تیماری سطوح آبیاری در کود زیستی بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول 3). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین عملکرد (682/68 گرم در مترمربع) در آبیاری کامل، کاربرد توأم سودموناس و فلاوباکتریوم (686/42 گرم در مترمربع) و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین (618/02 گرم در مترمربع) به‌دست آمد (جدول 4). کمترین عملکرد به‌ترتیب در قطع آبیاری در مرحله آبستنی (453/3 گرم در مترمربع)، عدم کاربرد کود زیستی (489/55 گرم در مترمربع) و عدم محلول‌پاشی (569/33 گرم در مترمربع) حاصل شد (جدول 4). مقایسه میانگین ترکیب تیماری سطوح آبیاری در کود زیستی نشان داد که بالاترین عملکرد دانه (799/44 و 746/38 گرم در مترمربع) به‌ترتیب در حالت آبیاری کامل به‌ترتیب با کاربرد توأم سودموناس و فلاوباکتریوم و کاربرد توأم میکوریز با سودموناس و فلاوباکتریوم و کمترین آن (403/42 گرم در مترمربع) در شرایط قطع آبیاری در آبستنی و عدم کاربرد کودهای زیستی مشاهده شد (جدول 5). به‌نظر می‌رسد که افزایش وزن و حجم ریشه از طریق افزایش جذب مواد غذایی، بالا بودن محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل (جدول 4، 5 و 6) و کارتنوئید تحت اثر ترکیب تیماری آبیاری کامل، کاربرد توأم کودهای زیستی و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین (جدول 7) موجب افزایش عملکرد دانه شده است. همچنین می‌توان بخشی از افزایش عملکرد دانه را به بهبود مؤلفه‌های پر شدن دانه نسبت داد به این صورت که در شرایط آبیاری کامل و کاربرد توأم کودهای زیستی و محلول پاشی پوترسین با افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه موجب می‌شود مواد بیشتری در دانه‌ها ذخیره شده و از این طریق موجب افزایش عملکرد دانه شود. میشرا و همکاران (Mishra *et al*., 2010) اظهار داشتند که تحت شرایط تنش، کودهای زیستی می‌تواند اثرات مثبتی در تحمل به تنش خشکی، عملکرد و رشد گیاه داشته باشد. برخی تحقیقات نشان داده‌اند که بین قارچ‌های میکوریز و باکتری‌های محرک رشد اثر متقابل وجود دارد (Antunes *et al*., 2006). بر اساس مطالعات بارگس و همکاران (Burgess *et al*., 2012) تلقیح بذر با آزوسپیریلوم لیپوفروم (*Azospirillum lipoferum*) توسعه ریشه و عملکرد دانه را در گندم بهاره و ذرت در شرایط کمبود آب افزایش داد. روستی و همکاران (Roesti *et al*., 2006) علت افزایش عملکرد در نتیجه تلقیح بذر با باکتری‌ها را به افزایش جذب مواد غذایی قابل دسترس، افزایش وزن ریشه در طول دورهٔ رشد در رقابت با پاتوژن‌های ریشه نسبت دادند.



شکل 1- تاثیر سطوح آبیاری، کودهای زیستی و محلول پوترسین بر روند پر شدن دانه گندم

Figure 1- Effect of irrigation levels, biofertilizers and putrescine on grain filling components of wheat

در پژوهش امرایی (Amraei, 2018) عملکرد و خصوصیات زراعی گندم تحت تاثیر کاربرد کودهای زیستی میکوریزا و ازتوباکتر افزایش معنی‌داری نشان داد. تائو و همکاران (Tao *et al*., 2012) اظهار داشتند که در نتیجه کاربرد توأم باکتری‌ها قادرند تا حدودی از اثر مخرب رادیکال‌های آزاد اکسیژن در شرایط تنش جلوگیری کنند و افزایش میزان عملکرد تحت تاثیر باکتری در شرایط کمبود آب عمدتاً به همین عامل مربوط می‌شود. عمادی و همکاران (Emadi *et al*., 2013) نشان دادند که محلول‌پاشی برگی پوترسین باعث افزایش عملکرد دانه به‌میزان 88/8 درصد در رقم چمران و 91/1 درصد در رقم استار و افزایش در اجزای عملکرد، میزان نشاسته و پروتئین دانه نسبت به تیمار شاهد گردید. آنان بیشترین عملکرد دانه را در محلول‌پاشی برگی پوترسین در مرحله آبستنی و پنجه‌زنی و کمترین آن را در عدم محلول‌پاشی گزارش کردند و اظهار داشتند که محلول‌پاشی پوترسین به دلیل افزایش طول عمر برگ پرچم و طول دوره پر شدن مؤثر دانه موجب افزایش عملکرد دانه شد.

نتیجه‌گیری

با افزایش محدودیت آبی حداکثر وزن دانه، سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه، محتوای کلروفیل، وزن و حجم ریشه و عملکرد دانه کاهش یافت. نتایج نشان داد که در شرایط محدودیت شدید آبی یا قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد کودهای زیستی و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین وزن ریشه (86٪)، حجم ریشه (71٪)، محتوای کارتنوئید (57٪)، سرعت پر شدن دانه (40٪)، طول دوره پر شدن دانه (29٪) و دوره موثر پر شدن دانه (7٪) را در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی با پوترسین تحت چنین شرایطی افزایش داد. همچنین در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، عملکرد دانه در کاربرد توام هر دو باکتری 23/1 درصد و در حالت استفاده میکوریز با کاربرد توام هر دو باکتری 16/6 درصد در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی تحت چنین شرایطی افزایش یافت. از این‌رو به‌نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و پوتریسین می‌تواند به‌دلیل بهبود صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی، عملکرد دانه‌ی گندم را تحت شرایط محدودیت آبی افزایش دهد.

References

1. Ahmadi, A., and Baker, D. A. 2001. The effect of water stress on grain filling processes in wheat. Journal of Agricultural Science 136: 257-269.
2. Alcázar, R., Marco, J. C., Cuevas, M., Patrón, A., Ferrando, P., Carrasco, A. F., Tiburcio F., and Altabella, T. 2006. Involvement of polyamines in plant response to abiotic stress. Biotechnol. Lett, 28: 1867-1876.
3. Alvaro, F., Royo, C., Garcia del Moral, L. F., and Villegas, D. 2008. Grain filling and dry matter translocation responses to source-sink modifications in a historical series of durum wheat. Crop Science 48: 1523-1531.
4. Amraei, B., Ardakani, M. R., Rafei, M., Paknejad, F., and Rejali, F. 2018. Effect of biofertilizer (*Mycorrhizal* and *Azotobacter*) application on yield and some agronomic characters of wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) under dry land conditions of Khorramabad, Lorestan province. Journal of Agronomy and Plant Breeding 12 (2): 1-17.
5. Antunes, P. M., Deaville, D., and Goss, M. J. 2006. Effect of two AMF life strategies on tripartite symbiosis with Bradyrhizobium Japonicum and soybean. Mycorrhiza 16: 167-173.
6. Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24 (1): 1-15.
7. Ashraf, M. Y., Azmi, A. R., Khan, A. H., and Ala, S. A. 1994. Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. Acta Physiology Plant 16 (3): 185-191.
8. Asrar, A. A., Abdel-Fattah, G. M., and Elhindi, K. M. 2012. Improving growth, flower yield, and water relations of snapdragon (*Antirhinum majus* L.) plants grown under well watered and water stress conditions using arbuscular mycorrhizal fungi. Photosynthetica 50 (2): 305-316.
9. Burgess, M. H., Miller, P., and Jones, C. 2012. Pulse crops improve energy intensity and productivity of cereal production in Montana, U.S.A. Journal of Sustainable Agriculture 36: 544-561.
10. Couée, I., Hummel, I., Sulman, C., Gouesbet, G., and El-Amrani, A. 2004. Involvement of polyamines in root development. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 76: 1-10.
11. Chandrasekhar, B. R., Ambrose, G., and Jayabalan, N. 2005. Influence of biofertilizer and nitrogen source level on the growth and yield of *Echinochloa frumentacea* (Roxb.) Link. Journal of Agricultural Technology 1 (2): 223 - 234.
12. El-Bassiouny, H. M., Mostafa, H. A., El-Khawas, S. A., Hassanein, R. A., Khalil, S. I., and Abd El- Monem, A. A. 2008. Physiological responses of wheat plant to foliar treatments with arginine or putrescine. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 2: 1390-1403.
13. Ellis, R. H., and Pieta-Filho, C. 1992. The development of seed quality in spring and winter cultivars of barley and wheat. Seed Science Research 2: 19-25.
14. Emadi, M. S., Hassibi, P., and Azimi, A. 2013. Effect of foliar application of putrescine and nutrient elements on two bread wheat cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences 15 (3): 247-261. (in Persian).

15. Emadi, M. S., Hassibi, P., and Azimi, A. 2014. Effect of leaf application putrescine and nutrient elements on some physiological characteristics of two bread wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) in Ahvaz, The Plant Production 37 (4): 107-118. (in Persian).
16. Feng, G., Zhang, F. S., Li, X. L., Tian, C. Y., Tang, C., and Rengel, Z. 2002. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. Mycorrhiza 12: 185-190.
17. Gianinazzi, S., Schuepp, H., Barea, J. M., and Haselwandter, K. 2001. Mycorrhizal technology in agriculture: from genes to bioproducts. Birkhauser, Basel. ISBN: 376436858. Also in: Mycorrhiza, 13: 53-54. Lovato, P. Book review.
18. Grover, M., Ali, S. K., Sandhya, Z., Abdul Rasul, V., and Venkateswarlu, B. 2010. Role of microorganisms in adaption of agriculture crops to abiotic stresses. World Journal of Microbiology and Biotechnology 27 (5): 1231-1240.
19. Gupta, S., Agarwal, V., and Gupta, N. K. 2012. Efficacy of putrescine and benzyladenine on photosynthesis and productivity in relation to drought tolerance in wheat. Physiology and Molecular Biology of Plants 18: 331-336.
20. Hammer, G., Dong, Z., McLean, G., Doherty, A., Messina, C., Schussler, J., Zinselmeier, C., Pszkiewicz, S., and Cooper, M. 2009. Can changes in canopy and/or root systemarchitecture explain historical maize yield trends in U.S. Corn Belt? Crop Science. 49: 299-312.
21. Jarak, M., Mrkovacki, N., Bjelic, D., Josic, D., Hajnal-Jafari, T., and Stamenov, D. 2012. Effects of plant growth promoting rhizobacteria on maize in greenhouse and field trial. African Journal of Microbiology Research 6 (27): 5683-5690.
22. Kader, M. K., Mmian, H., and Hoyue, M. S. 2002. Effects of Aztobacter inoculants on the yield and nitrogen uptake by wheat. Journal of Biological Sciences 2 (4): 250-261.
23. Kheirizadeh Arough, Y. 2016. Effects of nano zinc oxide foliar application, arbuscular mycorrhizal fungus and free living nitrogen fixing bacteria on yield and some physiological traits of Triticale under salinity and water limitation condition. PhD thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. (in Persian).
24. Kirchner M. J., Wollum A. G., and King, L. D. 1993. Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agroecosystems. Soil Science Society of America Journal 57:1289-1295.
25. Kusano, T., Berberich, T., Tateda, C., and Takahashi, Y. 2008. Polyamines: essential factors for growth and survival. Planta 228 (3): 367-381.
26. Mader, P., Kaiser, F., Adholeya, A., Singh, R., Uppal, H. S., Sharma, A. K., Srivastava, R., Sahai, V., Aragno, M., Wiemken, A., Johri, B. N., and Fried, P. M. 2011. Inoculation of root microorganisms for sustainable wheat-rice and wheat-black gram rotations in India. Soil Biology and Biochemistry 43: 609-619.
27. Mahros, K. M., Badawy, E. M., Mahgoub, M. H., Habib, A., and El-Sayed, I. 2011. Effect of putrescine and uniconazole treatments on flower characters and photosynthetic pigments of (*Chrysanthemum indicum* L.) Plant. Journal of American Science 7 (3): 399-408.
28. Malabika, R., and Wu, R. 2001. Arginine decarboxilase transgene expression and analysis of environmental stress tolerance in transgenic rice. Plant Science 160: 869-875.
29. Manske, G. B., Luttger, A., Behle, R. K., Vlek, P. G., and Cimmit, M. 2000. Enhancement of mycorrhiza (VAM) infection, nutrient efficiency and plant growth by *Azotobacter chroococcum* in wheat. Journal of Plant Breeding Biological 78-83.
30. Mishra, M., Kumar, U., Mishra, P. K., and Prakash, V. 2010. Efficiency of plant growth promoting rhizobacteria for the enhancement of *cicer arietinum* L. Growth and germination under salinity. Advances in Biological Research 4: 92-96.
31. Monakhova, O. F., and Chernyadev, I. I. 2002. Protective role of kartolin-4 in wheat plants exposed to soil drought. Applied Biochemistry and Microbiology 38 (4): 373-380.
32. Moucheshi, A., Heidari, M. T., and Assad, B. 2012. Alleviation of drought stress effects on wheat using arbuscular mycorrhizal symbiosis. International Journal of Agricultural Science 2: 35-47.
33. Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., and Vivekanandan, M. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology 161: 1189-1202.
34. Roesti, D., Gaur, R., Johariz, B. N., Imfeld, G., Sharma, S., Kawalieet, K., and Aragno, M. 2006. Plant growth stage, fertilizer management promoting rhizobacteria affect the community structure in rain-fed wheat field. Soil Biology and Biochemistry 38: 1111-1120.
35. Ronanini, D. R., Savin, R., and Hall, A. J. 2004. Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annus* L.) exposed to brif interval of high temperature during grain filling. Field Crops Research 83: 79-90.
36. Saghafi, K., Ahmadi, J., Asgharzadeh, A., and Bakhtiari, S. 2013. The effect of microbial inoculants on physiological responses of two wheat cultivars under salt stress. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 1 (4): 421-431.
37. Sarig, S., Okon, Y., and Blum, A. 1992. Effect of *Azospirillum brasilense* inoculation on growth dynamics and hydraulics conductivity of Sorghum bicolor roots. Journal of Plant Nutrition 15: 805-819.

38. Seyed Sharifi, R., and Namvar, A. 2016. Biofertilizers in Agronomy. University of Mohaghegh Ardabili press. 280 pp. (in Persian).
39. Tao, H., Morris, T. F., and Neafsey, J. 2012. Nutrient applications reported by farmers compared with performance-based nutrient management plans. Agronomy Journal 104: 437-447.
40. Togay, N., Togay, Y., Cimrin, K. M., and Turan, M. 2008. Effect of rhizobium inoculation, sulfur and phosphorus application on yield, yield components and nutrient uptake in chick pea (*Cicer aretinum* L.). African Journal of Biotechnology 7: 776-782.
41. Tsuno, Y., Yamaguchi, T., and Nakano, J. 1994. Potential dry matter production and grain filling process of rice plant from the viewpoint of source-sink relationships and the role of root respiration in its relationship. Bull. Faculty of Agricultural. Tottori University 47: 1-10.
42. Xie, Z., Jiag, D., Dai, T., Jing, Q., and Cao, W. 2004. Effects of exogenous ABA and cytokinin on leaf photosynthesis and grain protein accumulation in wheat ears cultured in vitro. Plant Growth Regulation 44: 25-32.
43. Zhang, K., and John, P. 2005. Raised level of cyclin dependent kinase after prolonged suspension culture of Nicotiana plumbaginifolia is associated with more rapid growth and division, diminished cytoskeleton and lost capacity for regeneration: implications for instability of cultured plant cells. Plant Cell Tissue and Organ Culture 82: 295-308.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 19, No. 2, Summer. 2021, p. 153-167

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد 19، شماره 2، تابستان 1400، ص. 167-153

Effects of Holding Irrigation at Reproductive Stages and Putrescine and Bio Fertilizers Application on Grain Filling Period, Chlorophyll Content and Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.)

A. Mohseni Mohammadjanlou[1*], R. Seyed Sharifi[2], S. Khomari[3]

Received: 08-12-2020
Accepted: 15-02-2021

Introduction

Drought is the most severe abiotic stress factor limiting plant growth and crop production. Many physiological processes in plants are impaired by drought stress. Also, this stress can damage the photosynthesis of plants, pigments and plastids reduce chlorophyll a, chlorophyll b and other carotenoids, hydrolyze proteins and prevalent photochemical reactions in most plants. The response of plants to drought stress depends on several factors such as developmental stage, severity, duration of stress, and cultivar genetics. Several strategies have been developed in order to decrease the water limitation-induced toxic effects on plant growth, among them use of bio fertilizers and putrescine play a key role in yield improvement. The aim of this study was to investigate the effects of irrigation withholding during reproductive stage and putrescine and bio fertilizers application on grain filling period, chlorophyll content and yield of wheat.

Materials and Methods

A factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications at the research farm, faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili during 2018-2019. Factors experiment were included irrigation at three levels (full irrigation as control, irrigation withholding in 50 percent of heading stage and irrigation withholding in 50 percent booting stage as moderate and severe water limitation respectively) and bio fertilizers at four levels (no bio fertilizer, application of mycorrhiza (*Glomus Intraradices*), both application *Psedomunas* (*Psedomunas Putida Strain* 186) and *Flavobacterim* Spp, application of mycorrhiza with *Psedomunas* and *Flavobacterim*), foliar application putrescine in three levels (foliar application with water as control and foliar application 0.5 and 1 mM of putrescine). Mycorrhiza fungi was purchased from the Zist Fanavar Turan corporation and soils were treated based on method of Gianinazzi et al. (2001). *Psedomunas* and *flovobacterium* were isolated from the rhizospheres of wheat by Research Institute of Soil and Water, Tehran, Iran. Two part linear model was used to quantifying the grain filling parameters. In this study, total chlorophyll, chlorophyll a, b, carotenoid, grain filling components and yield of wheat were investigated. Grain dry weight and number were used to calculate the average grain weight for each sample. Total duration of grain filling was determined for each treatment combination by fitting a bilinear model:

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < T_0 \\ a + bt & t > T_0 \end{cases}$$

Effective grain filling duration (EGFD) was calculated from the below equation: EGFD = the highest grain weight (g)/rate of grain filling (g.day^{-1}).

Results and Discussion

Means comparison showed that maximum of grain weight (0.0641 g), grain filling rate (2.28 mg.day^{-1}), grain filling period (39.7 day) and effective grain filling period (28.14 day) were obtained in full irrigation, application of mycorrhiza with *Psedomunas* and *Flavobacterim* and foliar application 1 mM of putrescine and the least of these traits (0.0361 g, 1.6 mg. day^{-1}, 33.15 and 22.57 days respectively) were obtained in irrigation withholding at booting stage and no application of putrescine and bio fertilizers, there were an increase about 77.56%, 42.5%, 19.76% and 24.68% in this treatment compounds in comparison with withholding at booting stage and no application of putrescine and bio fertilizers. Full irrigation, both application *Psedomunas* and *Flavobacterim*

1- PhD student, Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3- Associate Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

(*- Corresponding Author Email: a.mohseni55@yahoo.com)

with mycorrhiza and foliar application 1 mM of putrescine increased volume and root dry weight 124.37 and 123.47% respectively. Grain yield under irrigation withholding in heading and booting stages decreased in comparison with full irrigation. The highest grain yield was obtained in full irrigation (682.68 $g.m^{-2}$), both application *Psedomunas* and *Flavobacterim* (686.42 $g.m^{-2}$) and foliar application 1 mM of putrescine (618.02 $g.m^{-2}$).

Conclusions

Based on the results of this study, it seems both application of mycorrhiza with *Psedomunas* and *Flavobacterim* and foliar application 1 mM of putrescine with full irrigation can increase grain yield of wheat due to improve biochemical and physiological traits under water limitation condition in reproductive stages.

Keywords: Bio fertilizers, Grain filling rate, Mycorrhiza, Water limitation